

# 地上観測による水稻生育時の分光情報と衛星観測情報との照合に関する検討

環境リモートセンシング研究室 14333188 山口 翔太

指導教員 力丸 厚 坂田 健太 高橋 一義

## 1.はじめに

現地で行う生育調査は、水稻の株単位で調査可能であるが、時間がかかり、広範囲に分布している水田の全圃場を診断するのは困難である。そこで、広範囲の情報を取得できる衛星リモートセンシングによる広域的な解析との組み合わせが有効である。本研究では、地上観測による水稻分光情報と衛星観測情報との関係を明らかにするため、水稻の地上観測分光情報と衛星観測情報を照合することを目的とした。しかし、図 1.1.1 に示すように衛星観測情報は水稻だけでなく、土壌や水などを含むミクセル状態になっている。そのため、衛星観測では土壌や水などの分光反射が混在し、地上観測と観測される分光情報に差が生じる。そこで、以下の式(1.1.1)の線形混合画素モデルによって、衛星観測によるミクセル状態での反射率が算出される。式(1.1.1)に基づき、 $A_1$ に対応する植生比率である植被率を考慮する事により衛星観測情報との照合をした。



図 1.1.1 : 地上観測(左)と衛星観測(右)での対象圃場

$$R = A_1R_1 + A_2R_2 \dots (1.1.1)$$

R:ミクセル状態での反射率(衛星観測)

$R_1$ :水稻の反射率(地上観測)

$R_2$ :水稻領域以外の反射率(地上観測)

$A_1$ :水稻領域の面積比率

$A_2$ :水稻領域以外の面積比率

## 2.研究フロー

DVI(Difference Vegetation Index)の経時変化に着目した。DVIは植生指標の1つであり、植物の分光反射特性を反映させたものである。赤、近赤外域の反射率の差で算出する。水稻の生育期間に対象圃場での地上観測と生育測定を行い、水稻のDVIと植被率を算出した。次にLandsatデータを用いて、対象圃場のDVI

を算出し、地上観測により得られたDVIと照合した。水稻のDVIと生育データとの対応関係の検討を行った。図 2.1.1 に研究フローを示す。

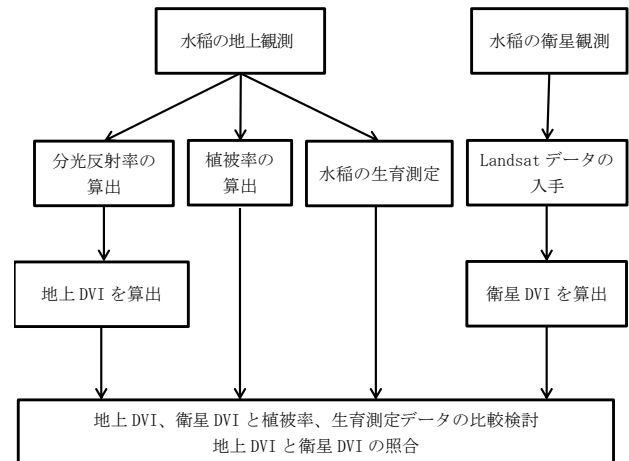


図 2.1.1 : 研究フロー

## 3.既往研究と本研究の比較

安井は地上観測での分光反射率の測定には、分光放射計を用いているが本研究では、ハイパースペクトルカメラを用いた。そのため、水稻の稲体部分だけを抽出し、分光特性の変化を読み取ることができる。

また安井は衛星観測では、MODIS センサを使用している。本研究では、Landsat7 に搭載されている ETM+(Enhanced Thematic Mapper Plus)と、Landsat8 に搭載されている OLI(Operational Land Imager)によって観測されたデータを使用した。MODIS センサと比べると ETM+と OLI の時間分解能は低いが、空間分解能は 30m と高いため、対象圃場を特定して、データを抽出することができる。また今回、幅 150m 長さ 100m の規模の圃場を対象圃場としたため、地上観測と衛星観測で同一の圃場を観測したデータを用いて、解析を行った。

## 4.使用機器・使用衛星

分光反射率の測定にはエバ・ジャパン社の「NH-3」を使用した。また、植被画像の撮影には、Sony 社の「DSC-WX220」を使用した。衛星データは、Landsat7、8 に搭載されている ETM+、OLI の地表面反射率プロ

ダクトの内の赤、近赤外域の反射率データを用いた。  
表 4.1.1 に使用データ諸元を示す。

表 4.1.1 : 使用データ諸元

人工衛星	Landsat-8	Landsat-7
観測センサ	OLI	ETM+
使用バンド	Band4(赤:0.64-0.67 $\mu$ m)	Band3(赤:0.63-0.69 $\mu$ m)
	Band5(近赤外:0.85-0.88 $\mu$ m)	Band4(近赤外:0.77-0.90 $\mu$ m)
分解能	30m	30m
観測日	5/25、6/10、7/12、9/30	8/5、9/22

## 5.DVI と植被率の算出

### 5.1 測定概要

本研究で行った測定は、長岡市才津南町の圃場で行った。圃場には「コシヒカリ」が作付けされており、移植日は5月20日ごろである。圃場の大きさは縦が約150m×横が約100mであった。対象圃場に対して、5月下旬から9月上旬まで週2回の頻度で測定を行った。ハイパースペクトルカメラは、自動車の車体の上に設置し、俯瞰で撮影した。デジタルカメラは伸縮可能なアルミ製の棒に固定し、アルミ棒を手で持ち、約4mの高さから直下視で撮影をした。図5.1.1に対象圃場の位置を示す。



図 5.1.1 : 対象圃場の位置(Google Map より引用)

### 5.2 地上 DVI の算出

ハイパースペクトルカメラでの撮影後、波長 400～900nm を対象に同時撮影した白色規準体(硫酸バリウム、白色半球体)を使用してデータを反射率変換した。変換後、画像データで近赤外 Band と赤 Band の差分である DVI を計算し、定めた閾値により水稻の稲体部分を抽出した。また圃場部分も抽出し、それぞれ分光反射率を算出した。OLI の波長帯に対応する DVI を求めた(以後、地上 DVI とする)。地上 DVI は、稲体部分での DVI と圃場部分での DVI の 2 種類を算出した(以後、稲体 DVI、圃場 DVI とする)。

### 5.2.1 地上 DVI の算出結果

地上 DVI の時系列変化を図 5.2.1 に示す。図 5.2.1 より、地上 DVI は 6 月初旬から 8 月中旬まで、時系列的に増加していき、登熟していくにつれて減少することが分かる。また稲体 DVI と圃場 DVI は時系列変化の傾向は同じであるが、稲体 DVI の方が圃場 DVI より DVI の値が高い。

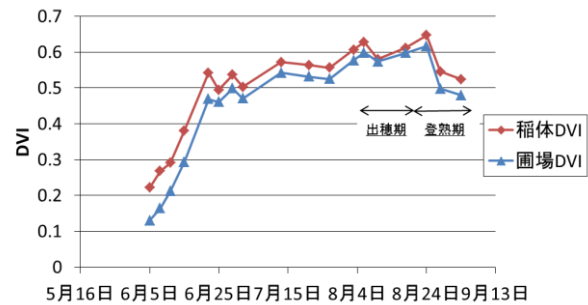


図 5.2.1 : 地上 DVI の時系列変化

### 5.3 衛星 DVI の算出

対象圃場における Landsat7、Landsat8 に搭載されている ETM+ と OLI を用いてデータの取得を行った。対象日は、稲作が行われている 5 月～9 月の間で対象圃場に雲がかかっている日とした。対象圃場に対応する 10 ピクセルを選定し、各ピクセルの DVI(以後、衛星 DVI とする)を算出した。図 5.3.1 に対象圃場の衛星画像を示す。



図 5.3.1 : 対象圃場の衛星画像(2015 年 7 月 12 日撮影)

### 5.3.1 衛星 DVI の算出結果

衛星 DVI の時系列変化を図 5.3.2 に示す。図 5.3.2 より衛星 DVI は 5 月から 8 月まで増加していき、9 月になると減少することが分かる。しかし、今回用いた 9 月のデータは 9 月 22 日と 9 月 30 日のため、対象圃場が稲刈後のため DVI は減少していると考えられる。また、各ピクセルによって、同じ観測日でも最大で 0.05 ほど DVI に差が出ていることが分かる。

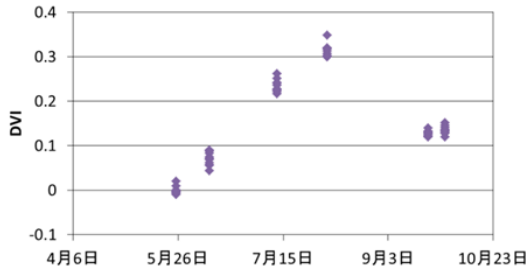


図 5.3.2 : 衛星 DVI の時系列変化

#### 5.4 植被率の算出

デジタルカメラを用いて水稻を 4m の高さから、直下視で撮影を行った。撮影画像の中央付近の約 5 条 5 株に相当する範囲を、画像処理ソフトウェアを用いて抜き出し、Greenness 指標を適応し、2 値化を行うことによって、水稻の植被率を算出した。2 値化を行う際の閾値は、大津の 2 値化を用いて定め、カラー画像と比較して結果が良好でない場合は、閾値の調整を行った。以下の式(5.4.1)に Greenness 指標の式を示す。

$$\text{Greenness 指標} = \sqrt{(2G - R) \times (2G + R)} \cdots (5.4.1)$$

また、図 5.4.1 に Greenness 指標を適用した画像、図 5.4.2 に 2 値化を行った画像を示す。2 値化を行った画像から、水稻領域のピクセル数と画像全体のピクセル数の割り算により植被率を算出した。

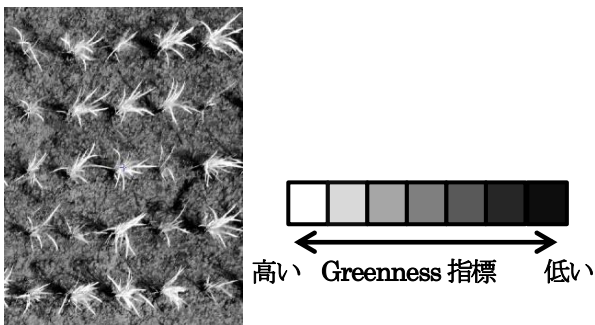


図 5.4.1 : Greenness 指標を適応した画像

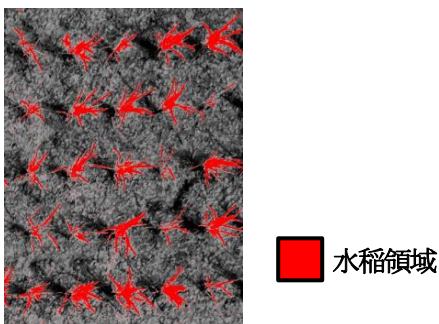


図 5.4.2 : 2 値化を行った画像

#### 5.4.1 植被率の算出結果

植被率の時系列変化を図 5.4.3 に示す。図 5.4.3 より、植被率は 5 月下旬から 7 月上旬までは時系列的に高くなり、7 月中旬から 9 月までは植被率が 70% から 80% の間を推移していることが分かる。対象圃場において、7 月中旬以降は、植被率があまり変化していないことが分かる。

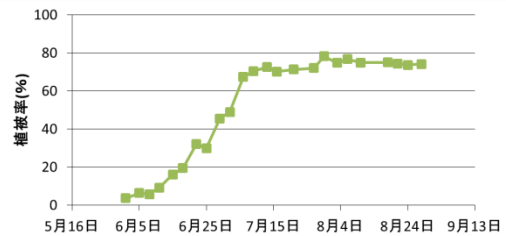


図 5.4.3 : 植被率の時系列変化

#### 6.地上 DVI と衛星 DVI の照合

水稻の地上観測分光情報と衛星観測情報を照合した。図 6.1.1 に稲体 DVI と衛星 DVI の時系列変化を示す。図 6.1.1 より、稲体 DVI と衛星 DVI はともに 8 月まで DVI が増加している。値は、地上観測による稲体 DVI が衛星 DVI を上回っていることがわかる。そこで稲体 DVI を衛星観測で取得しているミクセル状態のデータに近似させるため、植被率をかけた推定圃場 DVI を算出した。稲体 DVI、推定圃場 DVI、衛星 DVI の時系列変化を図 6.1.2 に示す。5 月から 7 月初旬までを生育初期、7 月中旬から 9 月までを生育後期とした。図 6.1.2 より、生育初期で推定圃場 DVI と衛星 DVI は、おおむね同様な変化傾向を示すことが分かる。生育後期では推定圃場 DVI と衛星 DVI の間に差がある。

そこで、衛星 DVI の最大値また最小値と稲体 DVI、推定圃場 DVI との差の絶対値を表 6.1.1 に示す。表 6.1.1 より、6 月 10 日の推定圃場 DVI と衛星 DVI の差が 0.017 となっている。しかし、7 月 12 日と 8 月 5 日はそれぞれ 0.153 と 0.134 であった。また、稲体 DVI と比べ推定圃場 DVI は衛星 DVI に 6 月 10 日では 93.3%、7 月 12 日は 50.6%、8 月 5 日は 52.1% 近似した。

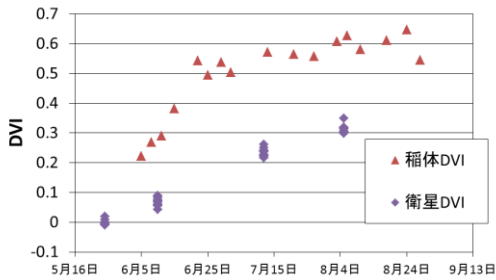


図 6.1.1 稲体 DVI、衛星 DVI の時系列変化

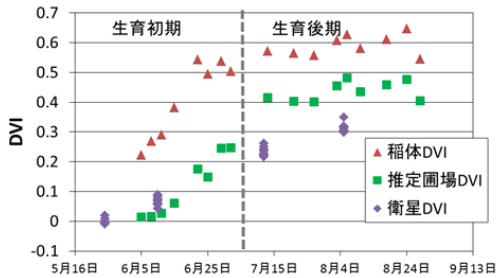


図 6.1.2 : 稲体 DVI、推定圃場 DVI、衛星 DVI の時系列変化

表 6.1.1 : 稲体 DVI、推定圃場 DVI と衛星 DVI の差

	6月10日	7月12日	8月5日
稲体DVI-衛星DVI	0.247	0.310	0.279
推定圃場DVI-衛星DVI	0.017	0.153	0.134

## 7.地上 DVI 及び衛星 DVI と植被率の比較検討

### 7.1 地上 DVI と植被率について

以下の図 7.1.1 に対象圃場における圃場 DVI と植被率の関係を示すグラフを示す。図 7.1.1 より圃場 DVI と植被率との相関係数を求めた。植被率は圃場の空間情報の 1 つであるため、圃場 DVI を用いて比較を行った。圃場 DVI と植被率の相関係数は 0.93 となり、相関は高い。このことから、植被率の増加に伴い圃場 DVI も増加していくことが分かった。しかし、7月中旬以降、植被率がほぼ一定になっても圃場 DVI は変化している。これは、植被率は変わらないが、出穂、登熟による稲の変化による圃場 DVI の変化だといえる。

### 7.2 衛星 DVI と植被率について

以下の図 7.2.1 に対象圃場における衛星 DVI と植被率の関係を示すグラフを示す。図 7.2.1 より衛星 DVI と植被率との相関係数を求めた。衛星 DVI は各観測日ごとの平均値を用いた。衛星 DVI と植被率の相関係数は 0.97 となり、相関は高いことが分かる。地上観測での圃場 DVI、衛星観測での衛星 DVI それぞれで植被率と高い相関係数を確認できた。

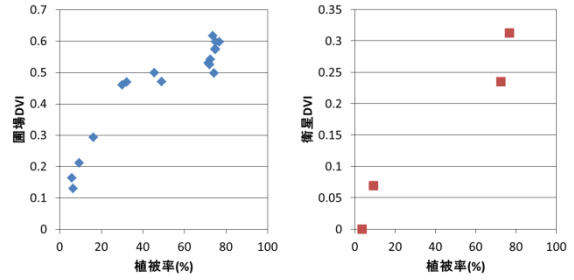


図 7.1.1 : 圃場 DVI-植被率のグラフ(左)

図 7.2.1 : 衛星 DVI-植被率のグラフ(右)

## 8.地上 DVI と生育測定データの対応関係の検討

### 8.1 生育測定データ

対象圃場のあぜ側から 4 株を選び、1 株ずつ草丈、茎数の測定を行った。また、水稻の倒伏程度と密接な関係がある草丈と茎数の積値を算出した。測定結果を以下の図 8.1.1 に示す。図 8.1.1 より、草丈は出穂期までは伸び続けるが、出穂期になるとほぼ変化していない。茎数は 7 月初旬までは増加を続けるが、それ以降は減少していき出穂以降はほぼ変化していない。草丈と茎数の積値は時系列的に増加しているが、7月中旬からは緩やかな増加をしている。

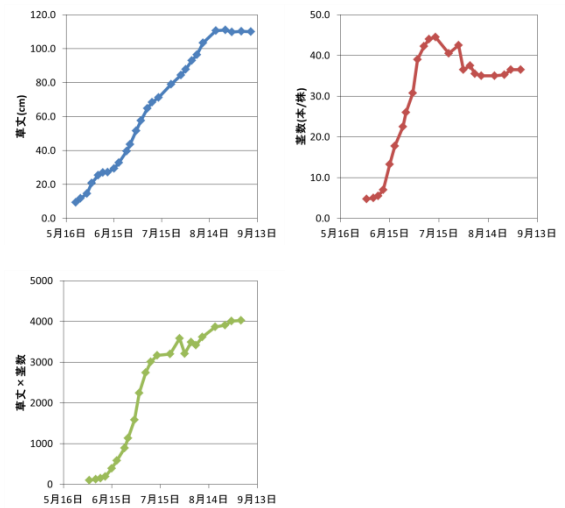


図 8.1.1 : 生育測定データの時系列変化

(左上: 草丈、右上: 茎数、左下: 草丈と茎数の積値)

### 8.2 地上 DVI と生育測定データの対応関係の検討

地上 DVI(稲体 DVI、圃場 DVI、推定圃場 DVI)のそれぞれの相関関係について検討した。表 8.2.1 に稲体 DVI、圃場 DVI、推定圃場 DVI の相関係数をまとめた。

また、稲体 DVI、圃場 DVI、推定圃場 DVI と生育測定データである草丈、茎数、草丈と茎数の積値との相

関係について検討した。また、相関関係を検討する際、観測日を全期間と、6月から7月初旬の生育初期の2種類に分けて検討した。以下の図 8.2.1 から図 8.2.3 に推定圃場 DVI と生育測定データのグラフを示す。以下の表 8.2.2 に対象圃場における稲体 DVI、圃場 DVI、推定圃場 DVI と生育測定データとの相関係数をまとめる。表 8.2.2 より、草丈、茎数、草丈と茎数の積値と地上 DVI において高い相関がみられた。また、生育初期における草丈、茎数と推定圃場 DVI、全期間における草丈と茎数の積と推定圃場 DVI でかなり強い相関がみられた。

表 8.2.1 : 稲体 DVI、圃場 DVI、推定圃場 DVI の相関係数まとめ

	稲体DVI	圃場DVI	推定圃場DVI
稲体DVI	-	0.99	0.92
圃場DVI	0.99	-	0.93
推定圃場DVI	0.92	0.93	-

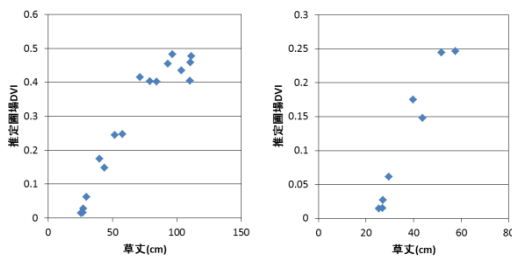


図 8.2.1 : 草丈-推定圃場 DVI  
(左 : 全期間、右 : 生育初期)

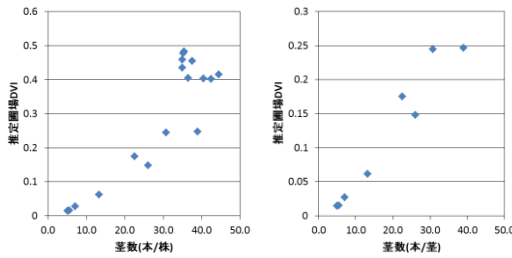


図 8.2.2 : 茎数-推定圃場 DVI  
(左 : 全期間、右 : 生育初期)

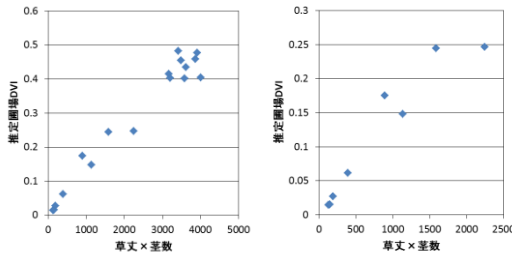


図 8.2.3 : 草丈×茎数-推定圃場 DVI  
(左 : 全期間、右 : 生育初期)

表 8.2.2 : 対象圃場における地上 DVI と生育測定データとの相関係数まとめ

生育測定データ	稲体DVI		圃場DVI		推定圃場DVI	
	全期間	生育初期	全期間	生育初期	全期間	生育初期
草丈	0.83	0.86	0.84	0.90	0.95	0.97
茎数	0.90	0.89	0.92	0.93	0.90	0.97
草丈×茎数	0.86	0.81	0.88	0.86	0.98	0.95

### 8.3 衛星 DVI による生育測定データの推定

表 8.2.2 より生育初期での推定圃場 DVI と草丈、茎数の相関係数はそれぞれ 0.97 と高い。そこで、生育初期における推定圃場 DVI と草丈、推定圃場 DVI と茎数のグラフを作成し、回帰直線を求めた。作成したグラフを図 8.3.1、図 8.3.2 に示す。図 8.3.1 と図 8.3.2 のグラフより求めた回帰直線の式に 6月 10日、7月 12日、8月 5日の衛星 DVI(10 ピクセルの平均値)を代入し、推定草丈、推定茎数を算出した。推定草丈、推定茎数と草丈と茎数の実測値を表 8.3.1 に示す。表 8.3.1 より 6月 10日の推定草丈と実測値の差は約 5cm である。しかし、7月 12日、8月 5日の推定草丈と実測値との差は 20cm 以上あり大きい。茎数では推定値と実測値の差が 5 本以上あり大きいことが分かる。

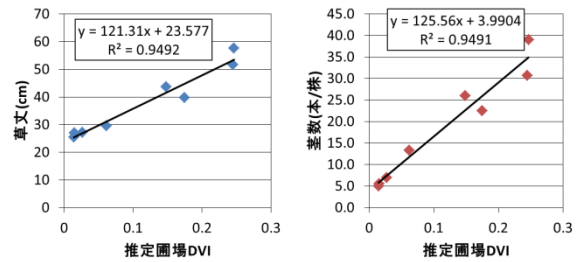


図 8.3.1 : 生育初期における推定圃場 DVI-草丈(左)

図 8.3.2 : 生育初期における推定圃場 DVI-茎数(右)

表 8.3.1 : 推定草丈、推定茎数と実測値

	草丈		茎数	
	推定値(cm)	実測値(cm)	推定値(本/株)	実測値(本/株)
6月10日	31.9	27.2	12.7	7
7月12日	52.0	71.2	33.4	44.5
8月5日	61.5	96.4	43.2	35.5

## 9.総括

生育初期で、推定圃場 DVI と衛星 DVI はおおむね同様な変化傾向を示している。6月10日の推定圃場 DVI と衛星 DVI の差は 0.017 と近似している。7月12日と8月5日の推定圃場 DVI と衛星 DVI の差はそれぞれ 0.153、0.134 と 0.1 以上の差がある。また6月10日では、稲体 DVI と比べ推定圃場 DVI は衛星 DVI に 93.3% 近似した。このことから、生育初期では、稲体 DVI に稲体の空間分布である植被率を考慮することによって、衛星 DVI の値に近似する。生育後期では、出穂、登熟など水稻の質的な変化を衛星観測では細密に判断できず、衛星 DVI と推定圃場 DVI との差が大きくなると考えられる。

また、生育初期における推定圃場 DVI と草丈、茎数、草丈と茎数の積値の相関係数は 0.97、0.97、0.95 と高い。また、生育初期での推定圃場 DVI と草丈のグラフより求めた回帰直線の式を用いて、6月10日の衛星 DVI より推定草丈を算出した。草丈の実測値 27.2cm に対し、推定草丈は 31.9cm と近似した値を算出することができた。これらのことから、衛星観測情報を用いて生育初期における水稻の生育状態を広範囲に把握できる可能性が示唆された。

本研究では、生育後期における推定圃場 DVI と衛星 DVI の関係を考察することができなかった。生育後期では、空間分布的な要素である植被率だけでなく、出穂、登熟などによる稲体の質的变化による誤差を考慮する必要がある。また、今回は1つの圃場のみを対象に測定・解析を行っている。今後は、複数の圃場を対象に測定・解析を行うことで、より汎用性のある結果が得られると考えられる。

## 参考文献

- 1) 安井健二 時系列衛星データによる水稻生育特性把握のための地上分光基礎観測情報の適応性に関する検討 長岡技術科学大学課題研究 2015
- 2) 阿部惇稀 地上観測による水稻生育期の時系列分光反射特性と植被率の把握 長岡技術科学大学課題研究 2014
- 3) 遠藤昌宏 水稻の植被率および分光特性観測による生育状態把握に関する研究 長岡技術科学大学大学院修士論文 2004

- 4) 野崎由紀子 地上観測分光情報を用いた水稻の葉色診断と生育および品質特性に関する基礎的検討 長岡技術科学大学大学院修士論文 2016
- 5) 一般財団法人リモート・センシング技術センター 「衛星総覧 Landsat-7」  
<https://www.restec.or.jp/satellite/landsat-7>
- 6) 一般財団法人リモート・センシング技術センター 「衛星総覧 Landsat-8」  
<https://www.restec.or.jp/satellite/landsat-7>
- 7) アメリカ地質調査所(USGS) Frequently Asked Questions about the Landsat Missions  
[http://landsat.usgs.gov/band\\_designations\\_land\\_sat\\_satellites.php](http://landsat.usgs.gov/band_designations_land_sat_satellites.php)
- 8) アメリカ地質調査所(USGS) EarthExplorer  
<http://earthexplorer.usgs.gov/>
- 9) 画像処理ソリューション 大津の2値化  
<http://imaging-solution.blog107.fc2.com/blog-entry-113.html>